

高速网络多媒体传输中自适应 QoS 保证问题^{*}

Adaptive-QoS Based High Speed Network Technology: A Survey

林 刚 杨学良

(中国科学院研究生院 北京100039)

Abstract Many present multimedia applications over High Speed Networks use continuous media such as audio and video. Some distributed multimedia applications now have the ability to adapt to fluctuations in the network by adjusting temporal and spatial quality to available bandwidth, or manipulating the playout time of continuous media in response to variations in delay. This idea of Adaptive control strategy also floods into other fields such as IP Routing, Wireless environment, Differentiated Service, etc. In this paper, we give a brief introduction on Adaptive QoS Management and research application mainly on High Speed Networks.

Keywords Adaptive-QoS, High Speed Network

1. 引言

自适应 QoS 技术是随着 Internet 中多媒体应用需求的不断增加和网络资源的限制而提出和不断发展的。何谓自适应 QoS? 它可定义为: “在网络资源有限的条件下, 以最小的代价, 在网络状态变化时, 能最大限度满足用户对网络资源的需求, 并获得最优的服务质量保证。” 自适应 QoS 包括多媒体音/视频流的 QoS 保证、无线网络 QoS 保证、自适应路由、Internet 代理服务器缓冲自适应等多个方面。国内外提出了众多自适应 QoS 的理论和模型, 如文[1]设计了基于计算机微环境的 CPU、网络接口的动态 QoS 管理模型 AQUA, 提出了集成一体化 QoS 管理的思想; 文[2]开发了一种综合 QoS 管理模型, 在端系统和网络中提供端到端的全程 QoS 保证; 文[3]是 RSVP 的设计者 Li Xia Zhang 提出的基于 DiffServ 模型的分层 QoS 管理模型, 将自适应 QoS 的思想引入 IP QoS 领域。我们认为, 总体来说当前的研究成果大都只涉及到静态的 QoS 调整, 而 QoS 自适应应当集中考虑动态的资源变动方案, 同时, 应当在适应策略上适当考虑多种因素, 如优先级、丢失率、媒体特性等。本文论述自适应 QoS 策略的产生和发展状况, 讨论自适应 QoS 在区分服务、路由算法、无线网环境等方面的应用。最后, 介绍我们近两年在分布式多媒体自适应 QoS 方面展开的研究工作, 并做趋势预测和总结。

2. 自适应 QoS 的产生和发展

服务质量(QoS)被定义为一个综合指标, 用于衡量使用一个服务的满意程度, 通常用一组参数表示(如带宽、延迟、抖动等), 代表用户所感受到的服务的性能。QoS 目前已经涵盖高速网络中的几乎所有领域。

经过对近年来自适应 QoS 研究所做的分析, 我们将其发展分为三个阶段。第一阶段, 通信服务质量在连接建立之前就已确定, 通信过程中不允许改变。这种静态的控制策略问题在于: 在网络资源发生变化的时候, 网络的 QoS 不能随之发生变化, 造成资源的浪费或者系统性能的整体下降。第二阶段, 多媒体数据传输中开始出现针对网络状态变化的 QoS 调整机制。但是针对 QoS 的改变往往是静态的, 调整策略和调整的参数是固定值。调整的资源大多是一维的, 即只针对 QoS 参数进行不加区分地整体调整而往往忽略了各种媒体间的联系。第三阶段是当前的研究方向和未来努力的目标。在这一阶段, 利用多种调控手段对各种媒体同时进行智能化自适应。调整的资源也由一维向多维发展, 文本、音频、视频、数据采取不同的 QoS 策略, 利用优先级在网络状态变化时按优先级调整。

自适应 QoS 研究具有非常重要的意义。近年来, 网络技术的飞速发展使得各种宽带高速网络不断出现, 然而, 带宽的

^{*} 本课题得到国家自然科学基金项目的支持(项目编号69983007)。林 刚 硕士研究生, 主要研究方向为计算机网络与通讯。杨学良 教授, 博士生导师, 主要研究方向为分布式多媒体计算机系统, CSCW, 网络与通讯等。

参 考 文 献

- 1 Waltz E. Information Warfare-Principles and Operations. Norwood, Artech House, 1998
- 2 Kokar M, Kim K. Review of Multisensor Data Fusion Architectures and Techniques. In: Proc. of the 1993 Intl. Symposium on Intelligent Control. Chicago, Illinois, USA, Aug, 1993. 261~266
- 3 Integrated Space Command and Control (ISC2). Lockheed Martin. <http://www.lockheedmartin.com/>
- 4 《2000-2035年美国海军技术》第九卷. 建模与仿真. 参见: 美国国防部建模与仿真办公室(DMSO)网站(<http://www.dmsomil>)
- 5 耿广生等主审, 于瀛等译. 构想、情况、力量-1999年美国海军规划指南. 中国人民解放军装备部舰艇部、中国船舶信息中心编译, 1999
- 6 Llinas J, Antony R T. Blackboard concept for data fusion application. International Journal of the Pattern Recognition and AI, 1993, 7(2), 285~305
- 7 Hall D J. Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion. Artech House, 1992
- 8 Shahbazian E, Bosse E, et al. Multi-Agent Data Fusion Workstation(MADFW) Architecture, SPIE-The International Society for Optical Engineering, Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications II, 1998, 3376: 60~68
- 9 Pflieger K, Hayes-Roth B. An Introduction to Blackboard-Style Systems Organization. <http://www-cs-students.stanford.edu/~kpfleger/publications/bb-style.ps.gz>
- 10 Valin P, et al. Testbed architecture for fusion of imaging and non-imaging airborne sensors. 1998 IEEE International Proceeding of Geoscience and Remote Sensing Symposiums, 1998, 3: 1304~1306
- 11 骆志刚, 胡健, 刘锦德. 开放系统中的实时性. 计算机科学, 2001, 28(1)

增加并不意味着多媒体传输问题的根本解决,因为人们对信息的需求不断增加,这就对网络本身的适应技术提出更高的要求。另外,随着 Internet 当中的音、视频信息日益增长,多媒体的网络用户也呈指数级增加,造成网络中的可用资源出现不稳定性、不均衡性、不确定性。在网络资源总是有限的情况下,在 Internet 这样状态极不确定的异构网络当中进行大数据量的传输没有自适应的调整是不可能实现的。

3. 自适应 QoS 在高速网络技术中的应用研究

3.1 基于区分服务 Diffserv 模型的自适应 QoS 研究进展

区分服务 DiffServ(Differentiated Service)模型是 IETF 为新一代网络技术提供测试环境而提出的服务质量模型^[4]。它是从集成服务(IntServ)发展而来的,其主要思想是将网络分成不同的域,在每个域的边缘路由器对数据包进行分类,然后归入相应的传送队列,通过对流量的分类和控制来达到调节网络资源的目的。使域内网络完全可以以统一的预定方式保证服务质量。区分服务的主要优势在于简化网络保证 QoS 的复杂性,加快转发速度,使互连网络中保证 QoS 更具可行性。在区分服务体系结构中,由于网络节点数量众多,网管出现了许多新问题。如域之间的流量均衡。同时,路由由适应问题,也是在区分服务模型当中进行 IP 组播首要考虑的问题。因此,将自适应思想应用到区分服务模型中是必然的趋势。具有代表性的模型是 UCLA 的 LiXia Zhang 提出的两层式管理模型^[5]。我们给出如图1所示的结构图。

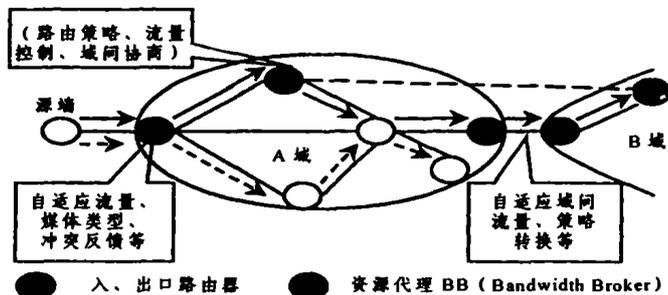


图1 DiffServ 两层自适应 QoS 模型

从资源管理的角度看,它可以看作两层式资源管理。第一层,在每个域的内部,进行独立的资源调度和分配。第二层是域间的资源管理,域间的聚集流传送遵守服务级协议(SLA)。即在域内部进行资源管理的同时,域间也在进行资源控制与管理。层级式的管理方案有利于实现域间的 QoS 管理与调控,而且将域内管理和域间管理统一起来。但是,这种方案在域内部的资源代理 BB 仍然采用 RSVP 方式预留资源,没有体现 Diffserv 本身将复杂性移至边界的优势。因此,许多自适应模型都提出在边界进行自适应处理,如 Wu-Chang Feng、Kandlur 等提出的 APM^[15]模型,将对 QoS 的处理操作,包括优先级定位、标记等工作放在了网间接口和用户/网络接口处,使得域之间保持相对的独立性。域内仍然按照统一的流处理方式传输。但这种模型在每个域间接口和用户-网络接口处都要设置相应的中间调控机制,使得服务质量的控制不如前一种方案灵活。因此,我们认为好的设计思想往往要在保持域的独立性和实现总体的域间 QoS 调控之间找到折衷。但是,可以预见,在域之间实现 QoS 的自适应调控将使得 Diffserv 结构更加灵活,进而影响 Internet 向动态智能化的方向发展。

3.2 无线环境下的自适应 QoS

自适应思想在无线领域的应用其意义在于无线系统能够在不确定的网络环境下进行 QoS 的自动调整,从而最大限度地利用信号资源而又允许系统的不确定性和一定的错误率。在无线环境中,由于拓扑结构的改变和传输媒体(传输方式为发射信号)的特殊性,使得链路的带宽变得无法预测,而且多媒体传输速率有可能非常低(广域通常低于20k 甚至10k),突发错误率通常较高。在这样的环境下保证 QoS 极富挑战性。包括微软研究院在内的国内外研究机构和大学都在进行无线网络的自适应 QoS 研究。

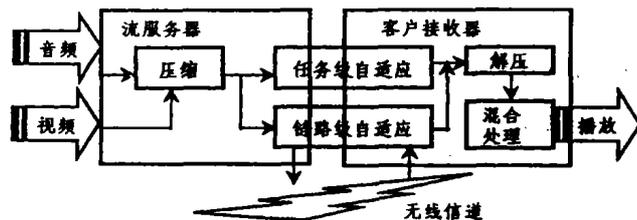


图2 无线环境中的自适应结构图

图2为一种3G 网环境下的自适应 QoS 模型,其自适应曾包括任务级和链路级。在任务级,实时任务应能适应网络变化,进行错误处理。通常采用不同的压缩算法或使用小波变换编码。在链路层,需要对媒体接入控制进行修改以支持资源预留和 QoS 保障,无线网往往要求提供分类的服务类型,使得媒体在无线信道中以不同级别,不同信道进行传输。这一级的自适应主要是选择合适的信道编码模式、媒体延迟界限、发送模式等。

当前所提出的无线环境下的自适应 QoS 框架模型中^[4-6]通常包含自适应控制技术和错误控制技术。自适应控制的实现可通过全程反馈机制来实现。错误控制技术应用较多的有 FEC(Forward Error Correction)和 ARQ 等方法。我们认为,无线环境中的自适应应当主要解决传输速率低、错误率高的情况下怎样进行调整的问题。最优模式选择、改进的 ARQ、改进的小波变换编码、W-CDMA 信道自适应、资源分配自适应、编码方式转换自适应和基于 MPEG-4 的无线传输等都将是无线领域自适应研究的重点。

3.3 路由器当中的自适应 QoS 保证

当今,路由器的交换速度大大提高,并能同时提供多种交换功能(如 MPLS 交换、DiffServ 标准交换、IP 交换、ATM 信元交换等)^[7]。但重点和难点在于对基于 IP 的 QoS 保证特别是基于 Internet 的交换技术的支持。最终目标是具有完全自动适应网络流量特性的智能路由器。概括说来,路由器的自适应性主要体现在流量自适应和路由自适应两个方面。

流量自适应中,流量算法一直占有重要的地位。目前较成熟的算法包括令牌桶过滤器(Token Bucket Filter)、基于权的公平队列算法(WFQ)、随机早期检测(RED)算法、Two-drop 丢弃过程算法和 Three-drop 丢弃过程算法等等^[8,9]。这些流量控制算法往往与资源预留协议 RSVP、ST-II 等结合使用。目前,新的网络自适应流量算法仍在研究阶段,新的算法不断出现^[10,11],也是自适应方面的重点研究领域。路由自适应^[12,13]的主要目标是使路由算法具有较好的可扩展性,使系统迅速适应网络变化,达到高效路由的目的。在自适应路由机制中,系统根据不断变化的网络流量和负载情况动态地指定可选路由从而使有限的链路资源得到最大限度的利用,实现最小的丢失率和最高的可靠性。图3示出了一个自适应路由的

例子,左图是采用 XY 路由策略的结果,右图是采用自适应路由的结果,自适应的结果使得网络负载均衡分配。

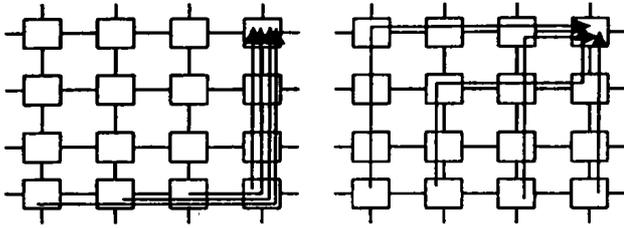


图3 自适应路由的例子

4. 我们在分布式多媒体自适应 QoS 领域的初步尝试

当前在分布式多媒体的研究领域对于 QoS 的研究主要是静态的资源调整策略。因此我们将自适应 QoS 的思想引入分布式多媒体系统中,在这一领域,我们的研究主要集中在分布式多媒体资源管理方面^[20~24],在分布式多媒体系统中,由于静态媒体和连续媒体同时存在,自适应思想主要基于的几点考虑包括:资源需求动态变化、可用资源动态变化、资源需求多样性、多媒体信息易于适应性操作、应用程序的优先级动态变化多等。

基于对多媒体系统中媒体流的这些传输特性的考虑,我们首先提出了节的概念,当前的多媒体传输领域的研究越来越趋向于将媒体流用多维表示^[16],有利于细化的自适应效果。节就是一种多维的资源表示方法,节是指媒体流在网络传输处理当中所处的阶段,可以表示为 $S=(V, T, B, d, g, q)$,参数的具体定义参见文[22]。分布式多媒体中媒体流的 QoS 要求一般都具有一定的范围 $[QoS_{min}, QoS_{max}]$,而且流在传输过程当中资源是动态变化的,因此,我们将节的概念扩展到自适应的节,并给出了自适应 QoS 保证的管理结构和管理流程。图4为自适应节的管理流程,主要分为呼叫建立阶段和传输阶段,在呼叫建立阶段按最小资源分配带宽,在传输阶段按当前系统可利用的资源状况自适应地调节速率。研究采用的方法是:用多媒体流由小到大的 QoS 去适应可用资源的动态变化,即当可用资源变多时,调节 QoS 变大,当可用资源变少时,调节 QoS 变小,调节范围在 $[QoS_{min}, QoS_{max}]$ 。在调节算法的选择上,由于可利用资源有可能震荡,使多媒体流的播放不稳定,为了解决这一问题,算法中将自动控制理论当中的 PID 调节原理应用到自适应调节多媒体流 QoS 当中,因为 PID 调节的结构简单,采用比例、微分、积分计算使系统输出保持稳定,可靠性高。结合多媒体流的特征,给出了多媒体流速率的 PID 调节算法。

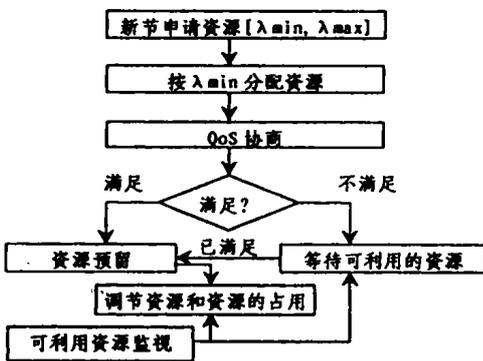


图4 自适应节 QoS 管理流程

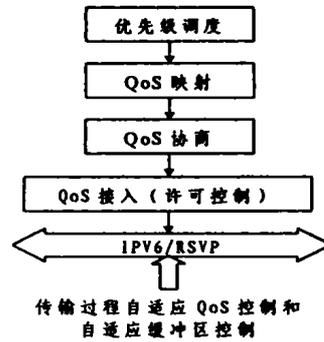


图5 基于优先级节的自适应 QoS 框架

鉴于多媒体流的不同特性,不同的流具有不同的优先级,我们将节的概念进一步扩展到基于优先级的节,其主要特点是引进了一个优先级节的概念。它间接指明了多维的媒体类型。具有优先级的节使得高优先级的多媒体流能够优先得到服务,并且得到 IPv6 协议的支持。它可以避免用户都对 QoS 提出过高的要求,有利于计费管理。图5是 QoS 控制的流程图,媒体流的 QoS 自适应采取增加一个 QoS 控制层的方式,包括 QoS 映射、QoS 管理部分等。QoS 映射主要完成用户和系统之间 QoS 的语义转换。QoS 管理部分包含协商库, QoS 监控等。管理部分需要了解所有网络应用的媒体特性和资源要求,了解当前网络能够提供的资源数量、种类、级别等等。在高优先级节到来时,所有较低优先级的任务都要进行“QoS 收缩”,即降低对 QoS 的要求。QoS 映射层负责将用户提出的 QoS 转变成系统 QoS。在完成 QoS 映射后,使用一个自适应函数进行 QoS 协商,看资源能否满足要求,若不满足,则降低要求重试或放弃请求。在 QoS 接入层,将系统资源分配给提出要求的节。传输过程当中设置缓冲区来平滑媒体效果适应网络拥塞。贯穿始终的自适应机制是资源管理函数,资源管理函数实时地修改资源分配表和可用资源列表。同时给出了基于优先级节的网络自适应 QoS 管理方案。

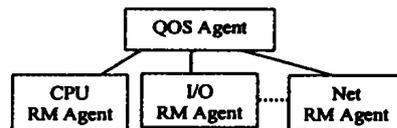


图6 QoS Agent 管理对象

另外,基于张占军和杨学良提出的 CSG-NSG-Client/Server^[23]模型,吴达荣又提出了一种新的 QoS 管理结构: AQNA (Agent-based QoS Negotiation Adaptation Platform)——基于 Agent 的 QoS 协商与自适应平台^[24],利用跨越树来调度分布式应用,通过分布式动态 QoS 调整和会话抢占的两阶段协议来进行 QoS 协商与自适应。两阶段协商和自适应协议是树型调度的核心,完成动态的 QoS 收缩,任务抢占及 QoS 扩展。第一阶段:接纳测试及预留,第二阶段:实际资源分配,回滚预留资源等。平台对应用屏蔽了 QoS 管理细节,由 QoS Agent 来进行 QoS 映射、协商、自适应等管理。在 QoS Agent 的下层,一些资源管理代理(RM Agent)完成具体的资源分配和调度,如图6所示。基于调度跨越树的 QoS 协商最大的好处是 QoS 协商是一种递归关系,如父节点和子节点之间可通过 RSVP 协议进行资源有效性协商,而子节点和孙节点之间可通过 NetEx 协议进行协商。在每个树型

调度中,系统可以动态地调整并发应用的 QoS 值,在所设的范围内减小(也即 QoS 收缩)或增加(QoS 扩张)QoS 值。调度的目标是尽量多地并发执行应用和使应用的 QoS 最大化。同时 AQNA 平台利用分布式抢占来确保关键类应用的执行和最大化地执行并发的基本类应用。

在今后的工作当中,我们将就资源管理调度中的一些关键问题进行研究,包括传输控制和媒体处理方式等方面问题。首先,我们认为自适应思想在 DiffServ 模型中的应用将是一个研究的重点。将自适应 QoS 研究中的许多策略应用到 Diff-Serv 模型当中将具有很高的现实意义。另外,资源媒体的接纳控制——包括资源分配、公平性问题、基于优先级的调度算法、视频流的分层多维的 QoS 自适应传输等也将是研究的重点问题。

发展趋势分析及小结 当前高速网络当中多媒体自适应 QoS 传输还存在很多需要解决的问题,针对这些问题,已经提出了许多解决方案。比如传输过程中,源端要和网络(如 ATM)或用户端(如 TCP)进行状态信息交换,从而获得不断变化的 QoS 信息。但交换信息往往因为网络堵塞而无法及时到达源端,使得源端无法及时调整发送速率。一种方法^[17]提出基于 RTP 协议将数据分优先级,在源端使用 RTCP 协议检测丢失率。另一种方法可以用 RSVP 预留协议检测带宽,单方面判断资源使用情况。同时,还可以基于 Diffserv 模型来解决。数据包在进入网络前要先经过入口路由器的过滤,源端将很快获得反馈信息从而快速做出反应。在媒体处理方面,视频流自适应的效果对于多媒体流的整体效果有着决定性的作用,同时也是一个难点。在已经提出的多种视频的自适应方案中,一种比较巧妙的著名方法是使用分层传输模型^[18](Layered Transmission Model): 视频信息被编码为不同的级别,每种级别的优先级逐渐下降,当网络中的资源和网络状态发生变化的时候,就按级别丢弃优先级较低的图像层的数据包,实现“平稳降级”。新的实现方法和解决方案被不断提出,这些问题都将是将来的研究课题。

根据对近年来的研究所做的分析,我们认为针对自适应 QoS 的研究具有以下几方面的发展趋势:全面支持 IP QoS^[19]——随着 Internet 的飞速普及和发展,各种新的网络技术都在考虑如何为因特网上的 QoS 提供更好的支持。自适应的 QoS 技术将是下一代因特网中重要的系统策略。层次化、智能化——当今的网络越来越向层次化、智能化的方向发展。新一代服务质量体系如区分服务(Differentiated Service)和多协议标记交换(MPLS)不约而同地将 QoS 的适应性问题作为首要考虑的因素。自适应性融合及技术简化——多个领域的自适应技术在特定的应用范围当中有其独有的特性,同时也具有相似之处。各个阶段的自适应策略的有机结合和平滑过度将大大提高整体自适应性能。

自适应 QoS 技术在高速网络技术众多领域中的成功应用使得自适应的思想渗透到众多最新的网络技术和平台当中。本文论述自适应 QoS 技术的产生背景和发展阶段以及围绕自适应 QoS 所进行的研究,并对近几年我们围绕分布式多媒体系统的自适应 QoS 所做的工作作了综述。由于各种标准并未建立,自适应的 QoS 还处于讨论研究阶段。新的研究成果正不断出现,相信未来的高速网络必定是具有全面的自适

应 QoS 特性的新一代网络。

参考文献

- 1 Lakshran K, Yavatkar R, Finkel R. Integrated CPU and Network-I/O QoS Management in an Endsystem. IFIP. Published by Chapman & Hall. 1997. 172~181
- 2 Wolf L C, et al. The system architecture of the heidelberg transport system. ACM Operating Systems Review, 1994, 28(2): 51~64
- 3 Zhang LiXia, UCLA. A Scalable Resource Management Framework For Differentiated Services. First Internet2 Joint Applications Engineering QoS Workshop, 1998
- 4 Vandalore B, Jain R, Fahmy S. AQuaFWiN: Adaptive QoS Framework for Multimedia in Wireless Networks and its Comparison with Other. LCN '99, Oct. 17~20, Boston. (9 pages)
- 5 <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/papers/wirelesslcn99.htm>
- 6 Zhang Qian, Zhu Wenwu, Zhang Ya-Qin. QoS-Adaptive Multimedia Streaming over 3G wireless Channel. (MMSA2000) Nov. 9~10, Delft, Netherland
- 7 Mendel B. Router revolution raises QoS questions. [Http://www.lantimes.com/98/98oct/810a012a.html](http://www.lantimes.com/98/98oct/810a012a.html)
- 8 Bcnncct J C R, Zhang Hui. WF2Q: Worst-case Fair Weighted Queuing
- 9 Abdelzaher T F, Bhatti N. Web Server QoS Management by Adaptive Content Delivery. 1999
- 10 Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(4): 397~413
- 11 CISCO DWRED. Distributed Weighted Random Early Detection. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios111/cc111/wred.htm>
- 12 Eleni Stroulia, Ioanis Nikolaidis. Schemes for Adaptive QoS Routing. University of Alberta Canada. <http://www.isoc.org/inet99/proceedings/4j/4j-1.htm>
- 13 Zhang Z, Sanchez C, Salkewicz B. Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Path First Routing (QOSPF), Internet Draft draft-zhang-qos-ospf-01.txt, June 1996
- 14 Sikora J, Teitelbaum B. Differentiated Services for Internet2 (draft). IETF Internet Draft
- 15 WuChang Feng, Kandlur D D, Saha D, Shin K G. Adaptive Packet Marking for Providing Differentiated Services in the Internet
- 16 王晖, 何华灿, 陈丹. 分布式多媒体系统的 QoS 动态控制策略研究. 计算机科学, 2000, 27(1): 85~87
- 17 Sisalem D. End-To-End Quality of Service Control Using Adaptive Applications. IFIP. Published by Chapman & Hall, 1997. 379~390
- 18 Gharavi H, Partovi M H. Multilevel video coding and distribution architectures for emerging broadband digital networks. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(5)
- 19 Zhao Weibin, Olshefski D, Schulzrinne H. Internet Quality of Service: an Overview. 2000
- 20 汤庸, 杨学良, 区海翔, 傅秀芬. 基于 IP 网络的自适应 QoS 管理方案研究. 计算机学报, 2001, 24(1)
- 21 张占军, 韩承德, 杨学良. 基于自适应节的多媒体流 QoS 保证的研究. 计算机学报, 2000, 23(12): 1320~1325
- 22 张占军, 杨学良, 张靖. 基于节的分布式多媒体资源管理. 计算机学报, 1998, 21(11): 970~979
- 23 Zhang Zhanjun, Yang Xueliang. Real-Time Intellegent Software Supporting System for Simulation Model. In: 1997 IEEE Intl. Conf. on Intellegent Processing Systems. Oct. Chian
- 24 吴大用, 杨学良. 基于 Agent 的 QOS 协商与自适应资源管理平台 AQNA 的设计与实现: [毕业论文]. 2000. 11